CORROSIONE e PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI

1/03/2017

La prima parte del corso è basata sulla metallurgia (scienze dei materiali), e quindi capire in base alla composizione chimica e al trattamento meccanico subito le proprietà del materiale metallico

- METALLURGIA

PROPRIETÀ MECCANICHE: → si fanno fluire una prova a trazione

- MODULO ELASTICO
- CARICO DI SNERVAMENTO
- CARICO DI ROTTURA
- ALLUNGAMENTO DOVUTO AL CARICO → $\Delta l = l - l_0$
- RESILIENZA

① **Modulo elastico** : $E = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \tan\theta$ cioè corrisponde alla tangente a 0 nella curva sperimentale sforzo-deformaz.

$\sigma = \frac{F}{A}$ **SFORZO**, si misura in MPa oppure in $\frac{Kgf}{mm^2}$: $\left(\frac{\text{Kilogrammi forza}}{mm^2}\right)$

Ricorda che: $1 \frac{Kgf}{mm^2} \simeq 10$ MPa

$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$ DEFORMAZIONE l_0 = LUNGHEZZA UTILE o di riferimento

è molto importante e deve essere abbastanza lunga rispetto alla sezione del provino che si va a strizionare, altrimenti la deformazione sarà enorme perché $l \gg l_0$.

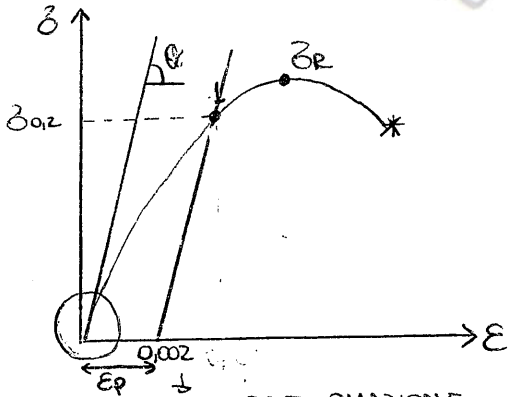
- Generalmente si usa un provino ad asse di rame, che presenta una sezione circolare, ed una sezione centrale molto più piccola della sezione esterna.



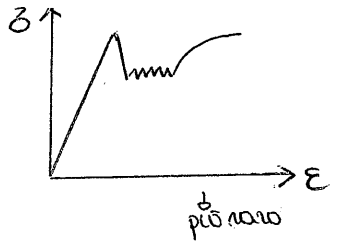
Esso è sottoposto ad una forza di allungamento, e poiché la sezione centrale è più piccola, lo sforzo σ è maggiore nel tratto centrale il quale si deforma più facilmente (si allunga facendo diminuire la sua sezione)

Quindi in condizioni standard si impone una certa proporzione tra la lunghezza utile e la sezione del provino.

Dalla prova a trazione mi consegue un diagramma sforzo-deformazione



CURVA SFORZO-DEFORMAZIONE → ingegneristica o NOMINALE



la sollecitazione reale applicata è rispetto alla sezione istantanea, invece la curva nominale è riportata ad uno sforzo rispetto alla sezione iniziale A_0

ACCIAIO $\simeq$ 220 GPa
ALLUMINIO $\simeq$ 70 GPa
TITANIO $\simeq$ 110 GPa

→ indipendente dal tipo di lavorazione il modulo elastico è una proprietà del materiale perché dipende dalla forza dei legami atomici del metallo. Le energie di legame Fe-Fe > energie legame Al-Al

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

→ Inizialmente la curva sforzo-deformazione è pressoché lineare e quindi vale la legge ② di Hooke: $\sigma = E\varepsilon$

Siamo nel **CAMPO DELLE DEFORMAZIONI ELASTICHE**: cioè se applico uno sforzo, togliendo il carico, l'oggetto torna alle sue dimensioni iniziali → la deformazione non è permanente

In realtà anche la prima zona è sempre leggermente curva a causa di alcuni movimenti di dislocazione che non tornano come prima dell'applicazione dello sforzo.

→ Aumentando la forza applicata aumenta anche il carico applicato e la curva σ-ε si allontana sempre di più dall'andamento rettilineo.

Siamo nel **CAMPO DELLE DEFORMAZIONI PLASTICHE**: cioè se applico uno sforzo, togliendo il carico, la deformazione non si recupera → deformazione permanente.

Non c'è un punto netto in cui si separano i due campi di deformazione.
Si considera un valore limite oltre il quale si entra nel campo delle deformazioni plastiche
Generalmente questo valore è 0,2% di deformazione, quindi 0,002, al quale corrisponde lo sforzo $\sigma_{0,2}$.

Quindi se nel punto 1 raggiungo una $\varepsilon = 0,2\%$ e tolgo lo sforzo applicato torno indietro nella deformazione lungo la // alla tangente e permane la deformazione $\varepsilon_p = 0,002$

② **Carico di snervamento**: $\sigma_{0,2}$

Corrisponde al carico corrispondente alla deformazione limite oltre la quale si entra nel campo delle deformazioni plastiche.

Lo snervamento è fondamentale per individuare una sezione da utilizzare affinché la molla (es. molla di un ascensore) sottoposta ad un determinato carico rimanga nel campo elastico.

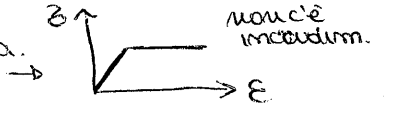
Quando si entra in campo plastico si continua ad aumentare la forza
→ (si impone una certa velocità di deformazione, da cui ne deriva l'aumento di F)
Ne consegue che un incrementazione di ε necessita di un incremento di σ.

INCRUDIMENTO = fenomeno metallurgico per cui un materiale metallico risulta rafforzato in seguito ad una deformazione plastica a freddo

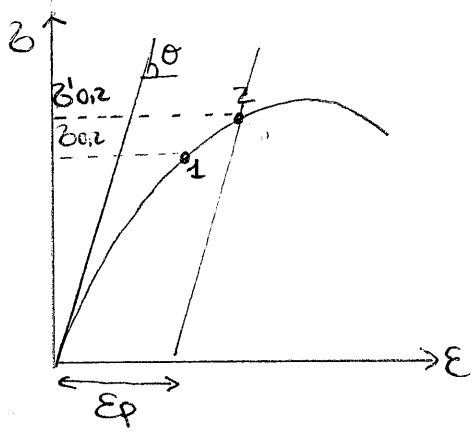
↓

spesso questo fenomeno è utilizzato in alcuni trattamenti per migliorare le caratteristiche del materiale.

L'incrudimento è legato alla pendenza della tangente alla curva.
Maggiore è la pendenza, maggiore è l'incrudimento



→ Se si entra nel campo dell'incrudimento, il materiale una volta che è stato deformato plasticamente, quando applico nuovamente uno sforzo, il carico di snervamento è aumentato → sarà $\sigma'_{0,2}$



1 = punto in cui la deformazione non è più elastica
2 = punto in cui mi fermo, tolgo il carico e lo riapplico

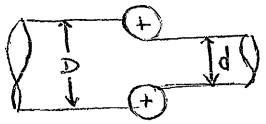
Il campo dell'incrudimento è finché non si rompe.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

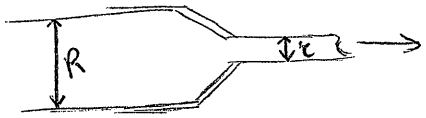
$WH = \frac{D-d}{D} \cdot 100$ → PERCENTO DI DEFORMAZIONE PLASTICA prima della rottura.

TRATTAMENTI:

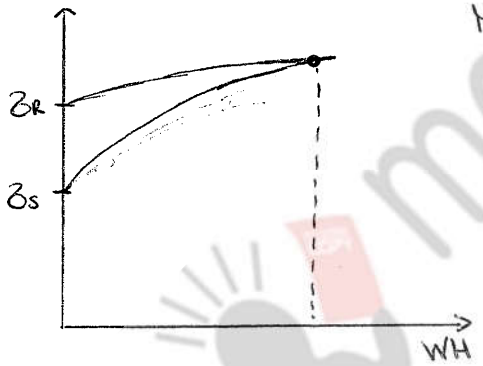
- Laminazione in 1 lamiera a freddo: faccio passare attraverso 2 rulli che riducono lo spessore.



- Estrusione: si fa tirando da destra. Se il carico di snervamento della sezione minore non fosse > del carico di snervam. della sezione maggiore l'oggetto si romperebbe



Quindi man mano che aumento la deformazione plastica, σ_s (carico di snervamento) aumenta parecchio (si avvicina al σ_R) e σ_R (carico di rottura) aumenta leggermente perché i grani si sono orientati in modo da rendere più resistente il materiale.

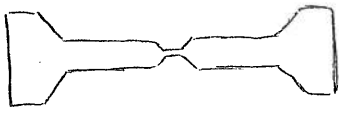


Man mano che aumenta la WH σ_R e σ_s si incontrano e il materiale si rompe.

Il fenomeno corrosivo è un fenomeno di natura elettrochimica.
Le dislocazioni sono tratti in cui il materiale è deformato.
Es. un bullone si arrugginisce più facilmente nella filettatura perché è lavorata plasticamente

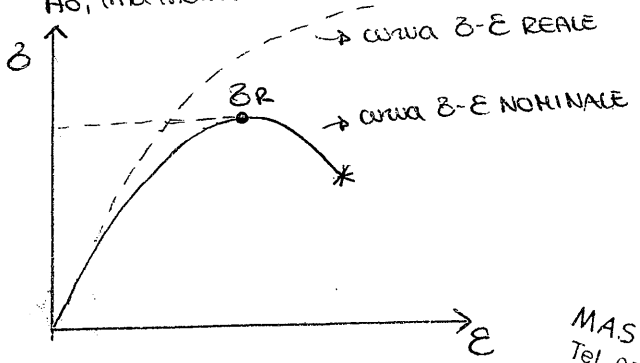
③ **Carico di rottura**: corrisponde al carico che agisce nel punto di massimo della curva sforzo-deformazione.

Quel punto è il punto di STRIZIONE del materiale → cioè il tratto centrale del provino è come se improvvisamente impoverisse
All'interno della sezione centrale c'è una cricca reticolare che riduce sensibilmente la sezione del provino



↓
lì si concentrano le deformazioni plastiche

→ Questo dà luogo ad una APPARENTE diminuzione della sollecitazione (dal grafico nominale perché da quel punto la curva scende), ma ciò non è vero, perché il grafico nominale si riferisce sempre ad uno sforzo in funzione della sezione iniziale A_0, ma nella realtà la sollecitazione aumenta perché la sezione centrale diminuisce

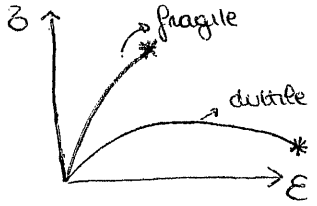


Anche se con σ_R l'oggetto effettivamente NON SI SPEZZA, esso viene considerato il carico di rottura perché a quello ingegneristico in quel punto è rotto perché c'è la cricca

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

- All'aumentare della T come cambiano le proprietà? ↑
  - Il modulo elastico diminuisce perché gli atomi interagiscono più facilmente ↓
  - Il carico di snervamento diminuisce perché sono presenti maggiori dislocazioni ↓ e quindi anche il carico di rottura diminuisce ↓

Esistono materiali molto duttili o fragili:



È meglio avere un materiale che presenta una deformazione duttile perché c'è una deformazione macroscopica e quindi la rottura non è improvvisa.

La tendenza di un materiale a dare rotture duttili o fragili dipende anche da T.

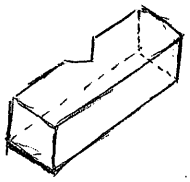
⑤ **Resilienza** è la capacità di un materiale di assorbire energia senza rompersi.

Quindi la prova di resilienza tende a trovare una T_{TTDF} (temperatura di transizione duttile-fragile) che rappresenta uno spartiacque.

- Per $T < T_{TTDF}$ → rottura fragile
- Per $T > T_{TTDF}$ → rottura duttile

} per tali T si tende ad avere un particolare tipo di rottura, ma in base alle condizioni operative la rottura può cambiare.

Prova di resilienza: si prende un provino standard prismatico che ha 1 intaglio. si prende un maglio incernierato e lo si lascia cadere da una certa altezza. Il maglio colpisce il provino dal lato opposto alla cricca rompendolo.

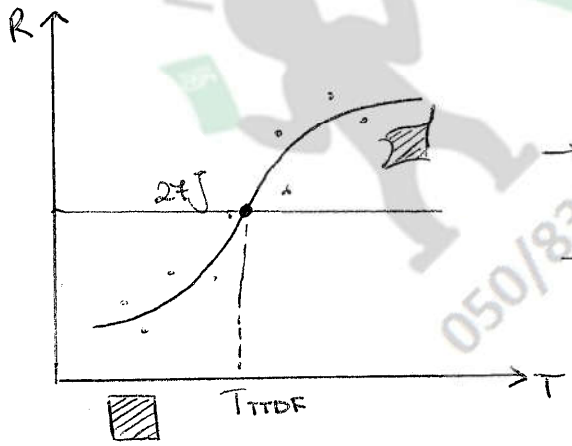


$R = mg\Delta h$ corrisponde alla perdita di energia assorbita dal provino per rompersi.

↓ si misura in Joule o in Kgm (Kilogrammetri)

↓ questa prova la faccio a diverse temperature

- A basse T il provino si rompe facilmente e assorbe poca energia
- Ad alte T si rompe assorbendo molta energia



→ A basse temperature non ci sono state deformaz. plastiche, la rottura è fragile e quindi la sezione di rottura è quadrata

→ Ad alte temperature ci sono state deformaz. plastiche, la rottura è duttile e quindi la sezione di rottura è irregolare

Eseguendo la stessa prova per diverse temperature, vado a ricercare la T alla quale quei materiali hanno una resilienza decente (27 J), cioè non da frattura fragile

→ T_{TTDF}

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

METALLURGIA FISICA - Microstrutturale

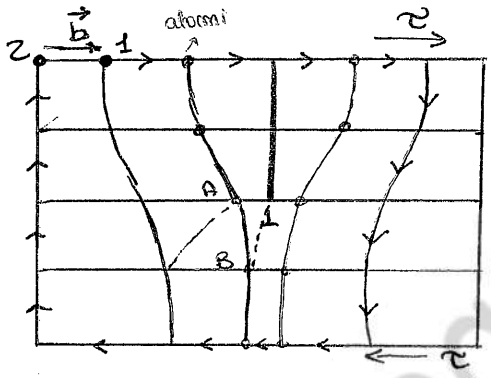
Vediamo cosa succede a livello microstrutturale durante le deformazioni e le rotture

TEORIA DELLE DISLOCAZIONI

Le deformazioni plastiche sono generalmente causate, a livello microscopico, da difetti del reticolo chiamati dislocazioni, che facilitano lo scorrimento dei piani cristallini muovendosi attraverso il materiale.

Sotto l'azione di una sollecitazione le dislocazioni vanno a spostare di un passo reticolare una parte del cristallo rispetto all'altra facendo assumere al materiale una forma diversa

Dislocazione a spigolo: può essere vista come l'intersezione di un semipiano all'interno del cristallo perfetto. →



un semipiano è "stato inserito" alterando il reticolo cristallino.

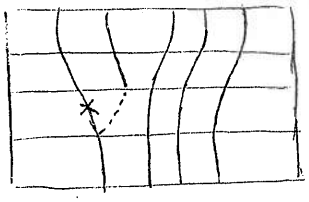
Questo può essere generato da un accumulo di vacanze nel semipiano inferiore: l'effetto complessivo è quello di un semipiano aggiuntivo (anche se nella realtà non è stato aggiunto nulla).

Per poter definire una dislocazione, si deve sapere come si sposta nel reticolo sotto una sollecitazione.

→ Si fa una CIRCUITAZIONE partendo da un punto.
Es: facendo 4 passi dal punto 1, in ogni direzione, se il cristallo fosse perfetto dovrei tornare lì! Invece arrivo in 2.

La congiungente da dove arrivo a dove sono partito è il vettore di BURGERS, ($\vec{b}$)
perpendicolare alla linea di dislocazione.

→ Sollecitando con uno sforzo modesto τ la dislocazione si sposta: il legame tra A e B si rompe e se ne crea uno nuovo col semipiano "inserito"
Quindi la dislocazione è traslata di $\vec{b}$
Continuando così a sollecitare la dislocazione si sposta provocando una deformazione



Quindi la teoria delle dislocazioni spiega come sia possibile deformare plasticamente un materiale con uno sforzo minore di quello ritenuto necessario.

2/03/2017

Le proprietà che differenziano la struttura cristallina e quindi la sua tendenza alla deformazione plastica sono il numero di coordinazione e il fattore di impacchettamento atomico.

- Numero di coordinazione: numero di atomi direttamente adiacenti ad un singolo atomo.
  Il n° di coordinazione in un reticolo può essere al massimo 12.
- Fattore di impacchettamento atomico: frazione del volume della struttura cristallina occupata dagli atomi. È un numero adimensionale compreso tra 0 e 1.
  Viene calcolato assumendo che ogni atomo sia rappresentato da una sfera rigida di raggio pari al raggio atomico.

$$FI = \frac{\text{SPAZIO OCCUPATO DALLA MATERIA}}{\text{VOLUME CELLA UNITARIA}} = \frac{n°\text{atomi/cella} \cdot V_{atomi}}{V_{cella}}$$

Ho un massimo impacchettamento quando nel piano gli atomi si toccano tutti tra loro.
Quindi la struttura cristallina è costituita dall'impilamento di piani a massimo impacchettamento.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745